

## AVALIAÇÃO INTRÍNSECA DOS DADOS DO *OPENSTREETMAP* E OS ASPECTOS ESPAÇO-TEMPORAIS NO ESTUDO DE CASO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE BRUMADINHO

*INTRINSIC EVALUATION OF OPENSTREETMAP DATA AND SPACE-TIME ASPECTS IN THE CASE STUDY OF BRUMADINHO'S DAM BREAKING*

Daniel Ferreira de OLIVEIRA<sup>1</sup>, Vivian de Oliveira FERNANDES<sup>1</sup>, Elias Nasr NAIM ELIAS<sup>2</sup>, Vinícius Emmel MARTINS<sup>2</sup>, Mauro José ALIXANDRINI JUNIOR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia. Av. Milton Santos, s/nº - Ondina, Salvador – BA.

E-mails: daniel.foliveira@outlook.com; vivian.fernandes@ufba.br; alixandrini@ufba.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná. Rua XV de Novembro, 1299 - Centro, Curitiba – PR.

E-mails: elias.naim2008@gmail.com; vinicius.emmel.m.92@gmail.com

Introdução  
Áreas de estudos  
Metodologia  
Resultados e discussão  
Conclusão  
Referências

**RESUMO** - O presente estudo consistiu na avaliação intrínseca dos dados do OSM e dos aspectos espaço-temporais no estudo de caso do rompimento da barragem de Brumadinho em Minas Gerais. Partindo da premissa de que os dados colaborativos do *Openstreetmap* (OSM) podem ser utilizados no gerenciamento de crises humanitárias. A utilização da plataforma do OSM, como base para aquisição de dados geoespaciais se deu pelo elevado número de contribuidores e dados gerados. A partir do recorte da área afetada pelo desastre, foi realizada uma análise quantitativa das edições ao longo do tempo, o que permitiu avaliar um dos potenciais do OSM, considerando os impactos das ações do *Humanitarian OpenStreetMap Team* (HOT), que através de Mapatonas gerou uma quantidade significativa de dados em um curto intervalo de tempo. A metodologia utilizada consistiu em uma análise de regressão realizada no ambiente do *Google Collaboratory* que por meio de código em Python que mostrou a quantidade de edições naquela região e uma análise dos vetores gerados, adquiridos por meio de um plugin do QGIS chamado QuickOSM. Os resultados mostraram que foram gerados, aproximadamente 8000 registros em um intervalo de uma semana após o desastre, sendo 5000 em um único dia. A partir daí pode-se concluir que as ações de mapeamento do *Humanitarian OpenStreetMap Team* possuem potencial para o fornecimento de uma resposta rápida acerca das dinâmicas de alteração do solo causadas por desastres ambientais.

**Palavras-chave:** Informação Geográfica Voluntária. *Openstreetmap*. Time humanitário *Openstreetmap*. Logística humanitária. Brumadinho.

**ABSTRACT** - The present study consisted of the intrinsic evaluation of the OSM data and the Spatio-temporal aspects in the Brumadinho tailings dam collapse - a case study. Based on the premise that OpenStreetMap (OSM) collaborative data can be used in humanitarian crisis management. The use of the OSM platform as a basis for the acquisition of geospatial data was due to the high number of contributors and generated data. From the clipping of the area affected by the disaster, a quantitative analysis of the edits over time was carried out, which allowed us to evaluate one of the potentials of the OSM, considering the impacts of the actions of the Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT), which through Mapathon generated a significant amount of data in a short period. The methodology used consisted of a regression analysis performed in the Google Collaboratory environment using Python code that showed the number of edits in that region and an analysis of the generated vectors, acquired through a QGIS plugin called QuickOSM. The results showed that approximately, 8000 records were generated in an interval of one week after the disaster, 5000 of which in a single day. From there, it can be concluded that the mapping actions of the Humanitarian OpenStreetMap Team have the potential to provide a quick response to the dynamics of soil alteration caused by environmental disasters.

**Keywords:** Voluntary Geographic Information. OpenStreetMap. Humanitarian OpenStreetMap Team. Humanitarian Logistics. Brumadinho.

### INTRODUÇÃO

Na data de 25 de janeiro de 2019 e no horário de 12h 28min, a barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, controlada pela empresa Vale S.A, se rompeu ocasionando um dos maiores desastres de cunho humanitário e ambiental do país.

O rompimento de barragens de rejeito de mineração causa mudanças drásticas na cobertura da terra (Aires et al., 2018). Para dimensionar os impactos desta tragédia, foram despejadas na natureza 12 milhões de m<sup>3</sup> de lama de rejeitos da mineração de ferro ocasionando a morte de 270

pessoas, das quais 11 ainda permaneciam desaparecidas (Oliveira et al., 2019). Estima-se que, aproximadamente, 300 ha de terras tenham sido soterradas pelos rejeitos (Pereira et al., 2019).

A Secretaria Nacional de Defesa Civil define desastre como “o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (BRASIL, 2012).

De acordo com Ávila & Mattedi (2017) o EM-

DAT (*Emergency Disasters Data Base*), centro de pesquisa da Escola de Saúde Pública da Universidade Católica de Louvain (UCL), localizado na Bélgica, os critérios objetivos para classificação de determinado evento como desastre consistem em: 10 ou mais óbitos; 100 ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência e pedido de auxílio internacional.

Em desastres desta magnitude o acesso à região afetada é comprometido, muitas áreas ficam sem água, luz, sinal de telefone, internet e a demanda por serviços de saúde aumenta significativamente o que exige uma resposta rápida, para tal, é necessário o reconhecimento e mapeamento do território, segundo a lógica das relações entre condições de vida e acesso às ações e serviços de saúde (BRASIL, 2011).

A Informação Geográfica Voluntária (*Volunteered geographic information -VGI*) é um fenômeno recente que oferece um mecanismo alternativo para a aquisição e compilação de informações geográficas (Goodchild, 2007). VGI é uma versão do *crowdsourcing*, na qual o usuário contribui criando e manipulando dados geoespaciais em websites, sendo estes dados inseridos em um banco de dados. Estes dados contribuídos especificam localizações geográficas, com suas descrições e propriedades (Goodchild & Li, 2012).

Tal processo tornou-se possível a partir do estabelecimento do conceito de web 2.0, criado por O'Reilly (2007). De acordo com Cormode & Krishnamurthy (2008), define-se como web 2.0 um fenômeno cibernético onde os usuários tornam-se elementos fundamentais na geração e gerenciamentos de determinadas informações, além de serem consumidores destas (Elias, 2019).

Nesse contexto, a Informação Geográfica Voluntária é uma solução que minimiza a indisponibilidade de informações geográficas dos atores oficiais (Hachmann et al., 2017).

Uma das principais motivações para a criação do *OpenStreetMap* foram as restrições do *Ordnance Survey* (agência cartográfica nacional do Reino Unido) quanto ao uso dos seus produtos, portando a intenção do criador da plataforma era compartilhar dados geoespaciais de modo abrangente, sem restrições proprietárias ou de direitos autorais (Perkins, 2011).

O *OpenStreetMap* é constituído por dados abertos, onde qualquer pessoa tem a liberdade de utilizar os dados para qualquer fim desde que credite a autoria do *OpenStreetMap* (*OpenStreetMap*,

2020).

O *OpenStreetMap* possui cinco classes que se referem aos dados geoespaciais, edição, *backend*, renderização e visualização. De forma resumida temos que a estrutura de banco de dados é baseada em PostgreSQL, ela é responsável por modelar os dados de mapa como nós, vias e suas respectivas relações topológicas.

A abordagem clássica é a coleta de dados espaciais com dispositivos portáteis e habilitados para GPS. Além disso, várias empresas como a Aerowest, Microsoft Bing (Bing, 2010) e Yahoo liberaram suas imagens aéreas para o projeto OSM (Elias, 2019). A comunidade pode usar essas imagens como uma camada de base para rastrear recursos geográficos, como por exemplo edifícios, florestas ou lagos de forma com que seja possível, posteriormente, efetuar a inclusão dos seus atributos.

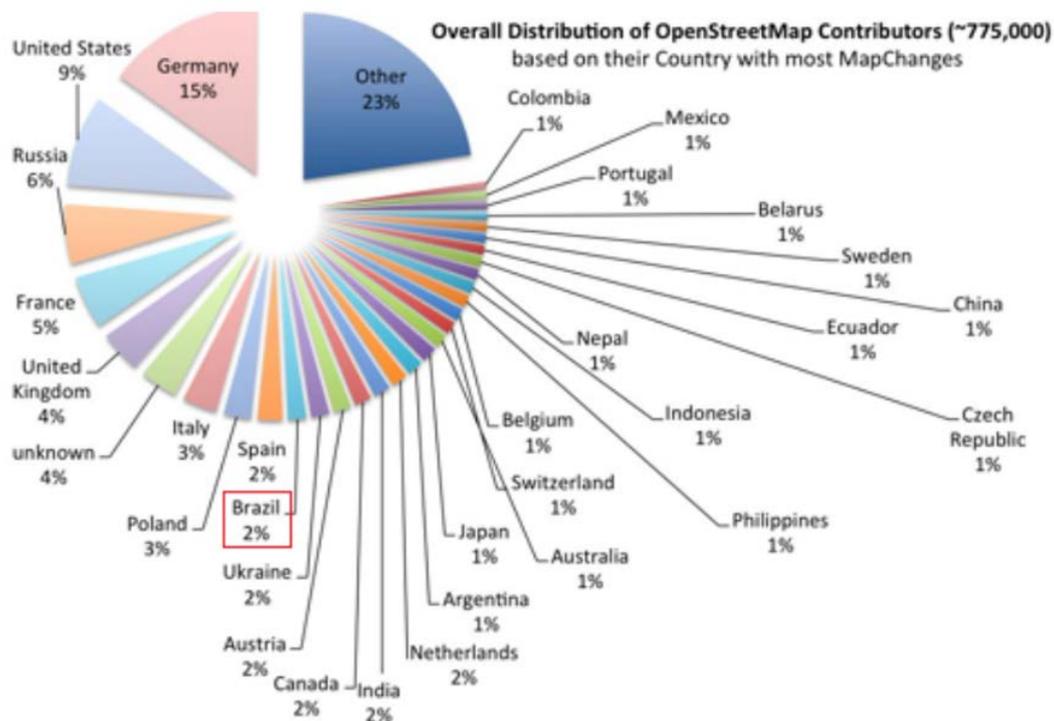
De forma a qualificar o elemento mapeado o OSM dispõe de tags (traduzido como etiqueta), a *tag* diz respeito a uma propriedade aplicada a um nó, caminho ou relacionamento. Estas propriedades são identificadas por pares de Chave-Valores que descrevem o item. (Wiki *OpenStreetMap*, 2021). Neste processo é comum que as contribuições ocorram de forma conjunta com outros colaboradores, o que é chamado de *mapatona* ou *mapping parties*.

A comunidade brasileira no *OpenStreetMap* cresce a cada ano. Apesar da ferramenta ter sido criada no ano de 2004, os primeiros dados geográficos referentes ao Brasil foram acrescentados somente no ano de 2007.

A participação brasileira entre os colaboradores do *OpenStreetMap*, comparando-se com a participação de países europeus e dos Estados Unidos, pode parecer pequena: apenas 2%, como pode ser observado na figura 1.

Porém, também a partir da figura 1, é possível observar que o Brasil já se encontra entre os países que mais colaboraram com a ferramenta *OpenStreetMap* nos últimos anos, igualando-se em participação a países como Espanha e Canadá (Medeiros, 2017).

Os dados VGI, oriundos de mapeamentos colaborativos, podem ser elaborados e armazenados em diversas plataformas online. De acordo com Bravo (2014), os mapas que até então eram elaborados por usuários com determinada formação técnica em cartografia, passam a ser constituídos por indivíduos que tenham acesso a um computador com acesso à internet.



**Figura 1** - Participação dos colaboradores do OpenStreetMap por país (Medeiros, 2017).

Com o intuito de apoiar ações humanitárias e de desenvolvimento regional a partir de dados VGI foi criado o *Humanitarian OpenStreetMap Team* (HOT), que consiste em uma comunidade internacional dedicada ao desenvolvimento de ações humanitárias por meio do mapeamento aberto. O HOT utiliza a plataforma do *OpenStreetMap* (OSM) como base e conta com a ação de voluntários que, através de ações de mapeamento, contribui para a gestão de desastres e redução de riscos ao redor do mundo (HOT, 2021).

O OSM possibilitou a utilização de dados geoespaciais desde os seus primeiros dias, a partir daí, pressupondo que os dados de mapas abertos e gratuitos seriam benéficos para a ajuda humanitária e o desenvolvimento econômico. A ideia foi comprovada durante o terremoto do Haiti de 2010 (Wiki OpenStreetMap, 2021). Na ocasião o OSM, de acordo com seu próprio site, foi a referência mais completa de localização de estradas, hospitais, centros de triagem e campos de refugiados para as equipes de ajuda humanitária, permitindo identificar rotas e caminhos para que pessoas pudessem ser socorridas. Desde então o HOT foi reconhecido como uma organização sem fins lucrativos e vem trabalhando para fornecer dados remotos durante crises.

Com base nas discussões sobre os dados colaborativos é notório o potencial dos dados VGI no que tange mapeamento de desastres naturais ou crises humanitárias pelo baixo custo

de produção e rápida capacidade de resposta. Contudo, para utilização destes dados é necessário compreender seus parâmetros de qualidade. A realidade é que em diversos casos os produtos cartográficos de referência não estão disponíveis ou são inexistentes e a partir daí a avaliação de parâmetros intrínsecos se torna uma alternativa para avaliação do VGI. A partir daí questiona-se o potencial dos dados gerados pelo HOT quanto ao aspecto espaço-temporal.

Um projeto de mapeamento só deve ser utilizado como fonte precisa de informações caso seja associado a processos que avaliem a acurácia dos dados compostos no mesmo. Dessa forma, a análise de padrões que avaliem a acurácia de um determinado produto cartográfico deve estar relacionada aos parâmetros que dizem respeito a processos de entrada, edição e controle de qualidade dos mesmos. Uma vez que, o intuito é o fornecimento do dado real referente a informação cartográfica digital (Elias, 2019).

Diante das limitações que caracterizam os dados oficiais, pesquisadores procuraram elaborar métodos intrínsecos que melhor se adequam aos indicadores de qualidade do VGI (Barron et al., 2014; Antoniou & Skopeliti, 2015). Em situações que se verificam dificuldades na aplicação das normas de qualidade dos dados VGI. A literatura existente sugere o uso de indicadores baseados na fiabilidade, credibilidade, qualidade do conteúdo textual, imprecisão, conhecimento local, experiência, reco-

nhecimento e reputação (Senaratne et al., 2017).

Com a disponibilidade do banco de dados OSM onde são armazenadas todas as edições, viu-se a oportunidade de realizar análises espaço-temporais dos dados. A partir da criação de aplicativos baseados na análise, visualização e processamento dos dados OSM. Que possibilitam avaliar de forma rápida os indicadores de qualidade intrínseca em uma região específica (Minghini & Frassinelli, 2019).

Com o objetivo de flexibilizar o processo de análise espaço-temporal da qualidade dos indicadores intrínsecos da OSM com base na sua evolução e histórico a nível global. Raifer et al. (2019) apresentou a ferramenta OSHDB (*OpenStreetMap History Database* - banco de dados sobre o histórico da OSM1); e Auer et al. (2018) a ferramenta OHSOME (Joaquim, 2020). Para o

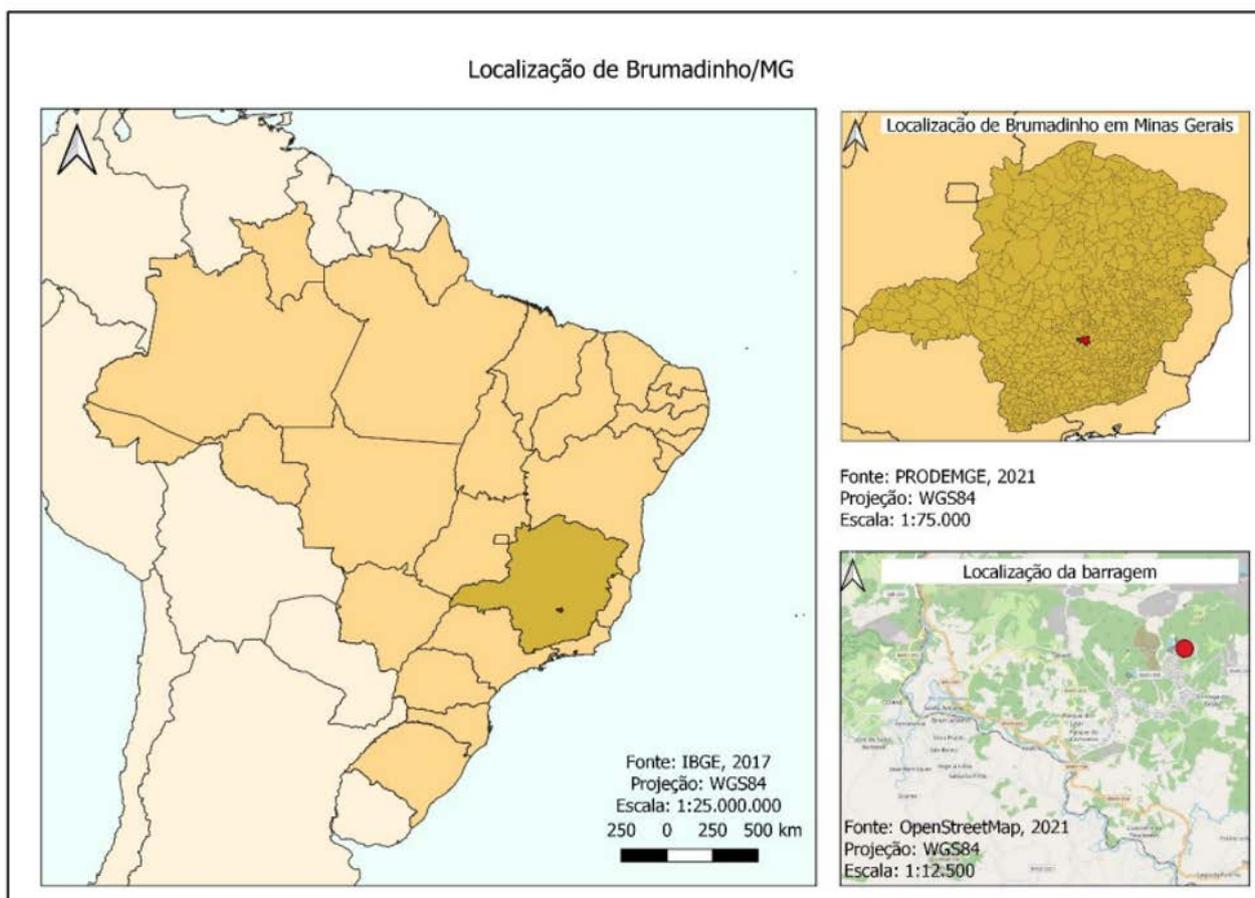
caso da HOT, a avaliação da qualidade dos dados contribuídos durante uma crise ou desastre natural, segue um processo de validação que é feito por mapeadores experientes (HOT, 2021).

A partir da premissa abordada, que define o problema de pesquisa e parte da hipótese de que a partir da avaliação dos padrões espaço-temporais é possível compreender os impactos da Equipe Humanitária do OpenStreetMap na produção de dados geoespaciais para gerenciamento de crises. O objetivo do trabalho é avaliar as potencialidades do projeto *Humanitarian Openstreetmap Team* para Logística Humanitária através da análise de dados disponíveis na plataforma OSM, antes e depois do rompimento da barragem de rejeito a montante da represa pertencente a empresa Vale, situada no município de Brumadinho/MG.

## METODOLOGIA

A pesquisa se baseou no estudo de caso do rompimento da barragem de Brumadinho. O município de Brumadinho, fica localizado no estado de Minas

Gerais na região metropolitana de Belo Horizonte, como mostrado no mapa da figura 2, e de acordo com o último censo possuía cerca de 40 mil habitantes.



**Figura 2** - Localização da Barragem de Brumadinho no estado de Minas Gerais e no Brasil.

Contrastando com o tamanho da sua população, o município de Brumadinho possui uma área consideravelmente extensa, 639,434 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020), caracterizada pelo seu relevo

montanhoso e dentro da Região Metropolitana de Belo Horizonte se destaca pelos seus mananciais de água, que segundo dados da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) é respon-

sável por abastecer um quarto da Região Metropolitana de Belo Horizonte e dos municípios vizinhos através dos sistemas Rio Manso e Catarina.

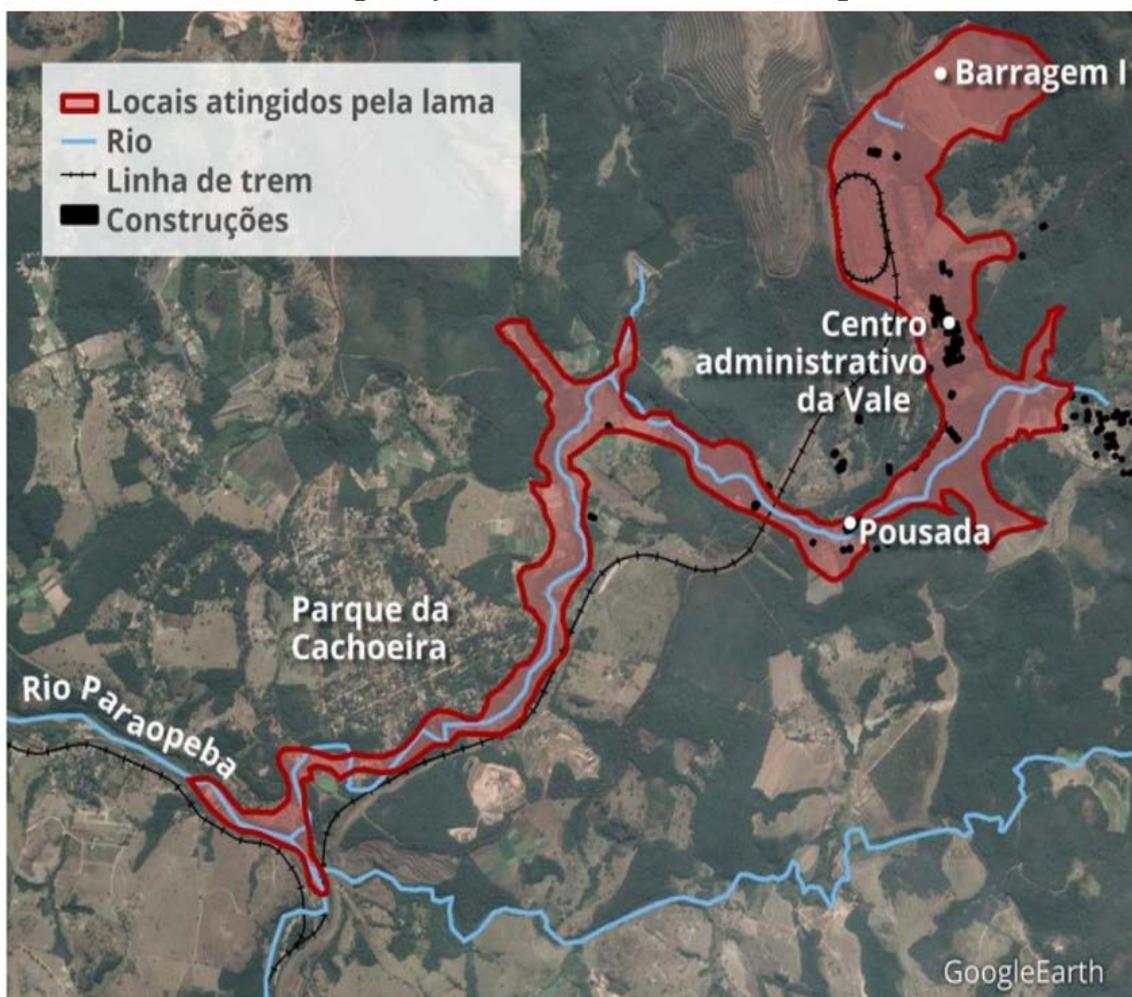
A economia de Brumadinho é mantida pela atividade da mineração, atualmente, conforme dados da prefeitura, 60% da arrecadação do município vem desta atividade, com destaque para a empresa Vale S.A. que gera cerca de 2.000 empregos entre funcionários e terceirizados, sendo responsável por mais da metade da arrecadação do segmento.

O Complexo de Paraopeba, que é onde a barragem da Mina Córrego do Feijão está inserida, foi responsável pela produção de 27,3 milhões de toneladas no ano de 2018. Esse complexo possui treze estruturas utilizadas para disposição de rejeitos, retenção de sedimentos, regulação de vazão e captação de água.

Dentro da mina há sete barragens que arma-

zenam os resíduos após a separação do minério rico, com valor econômico, do rejeito, que é material sem demanda de mercado (G1, 2019). Dentro desta estrutura a barragem de rejeitos possui como principal finalidade reter e depositar todos os resíduos gerados pela produção de minério, impedindo que estes rejeitos sigam para os rios reduzindo assim os impactos ambientais ocasionados pela mineração.

A barragem 1 foi construída em 1956 e adquirida pela Vale em 2001 e estava sem receber rejeitos desde 2016. De acordo com o Relatório Técnico emitido pela Vale no final de 2019, a principal causa do rompimento foi a liquefação dos rejeitos, ou seja, mudança do estado físico do material, que de sólido passou a se comportar como líquido. O relatório também apontou que a lama de rejeitos percorreu cerca de 98 km, contados a partir da barragem, como pode ser verificado na figura 3.



**Figura 3** - Caminho percorrido pela lama em Brumadinho/MG (Fonte: G1).

No dia do rompimento foi instituído, temporariamente, o Gabinete de Crise do Estado de Minas Gerais em razão do rompimento, por meio do Decreto com numeração especial 23, de 25 de

janeiro de 2019, com o objetivo de mobilizar e coordenar as atividades dos órgãos públicos estaduais e entidades quanto às medidas imediatas a serem adotadas na minimização dos impactos do

desastre.

Posteriormente com o objetivo de coordenar as ações estaduais de recuperação, mitigação e compensação dos danos causados à população dos municípios atingidos pelo rompimento da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, foi instituído o Comitê Gestor Pró-Brumadinho (Governo do Estado de Minas Gerais, 2021).

No dia 25 de janeiro a comunidade *OpenStreetMap* (OSM) iniciou um esforço colaborativo de mapeamento para montar um mapa base pré-desastre com o intuito de auxiliar no planejamento das buscas e do resgate das vítimas, bem como na recuperação a longo prazo da cidade de Brumadinho. Uma campanha de mapeamento coordenado colocou, em dois dias, praticamente todas as edificações da região afetada pelo rompimento em Brumadinho no *OpenStreetMap*, com apoio da organização de ajuda humanitária *Humanitarian OpenStreetMap Team* (HOT).

Foi utilizado o *Tasking Manager*, plataforma que já foi utilizada no desastre de Mariana, no terremoto do Haiti e outras diversas situações de desastres e crises humanitárias ao redor do mundo.

O mapeamento inicial teve como principal objetivo localizar as estruturas existentes e afetadas, como as estradas, matas, áreas de agricultura, rios e áreas urbanizadas. Em cerca de 24 horas, a comunidade *OpenStreetMap* de todo o mundo mapeou toda a área do desastre, e em 48 horas foi mapeada praticamente toda a área atingida pela lama. Tudo que foi mapeado, pôde ser impresso, utilizado em softwares GIS ou em dispositivos móveis para orientar as equipes de busca e salvamento, resgate de pessoas, resgate de fauna, delimitação de zona restrita ainda sob risco, cálculo de áreas atingidas, etc.

Os dados ficaram disponíveis para as organizações que trabalharam no local, para compreensão da dinâmica local neste período por meio de dados VGI. Para delimitação da área de estudo foi utilizada a base da PRODEMGE, empresa de tecnologia da informação do governo de Minas Gerais, de delimitação estadual e municipal para o ano de 2021.

Ainda no site da PRODEMGE, através projeto Pró-Brumadinho, estão disponíveis para acesso, por meio de geoserviço, os dados vetoriais referentes à produção cartográfica realizada no estado de Minas Gerais.

Do processo para aquisição dos dados colaborativos, como os do *OpenStreetMap*, serão citados

quatro métodos, considerando que cada um deles atende uma necessidade do usuário. A primeira forma é na própria plataforma do OSM, realizado o cadastro o usuário pode selecionar uma área e, por meio de um retângulo envolvente, realizar a extração destes dados que posteriormente deverão ser convertidos para a extensão *shapefile* ou GeoJSON, a fim de que possa utilizá-los em uma plataforma SIG.

O QGIS também possui um complemento chamado QuickOSM que permite a extração dos dados no próprio software. Nele há a opção de selecionar a área por meio da extensão da tela ou da camada.

As desvantagens desses dois métodos é que não há uma classificação dos atributos, uma vez que eles vêm agrupados de acordo com sua primitiva gráfica. Contudo, no QuickOSM o usuário pode escolher o conjunto de *tags* que ele deseja obter. Caso o usuário queira baixar os dados devidamente classificados ele tem a opção de utilizar a plataforma do GeoFabrik que permite o *download* no formato *shapefile* de grandes extensões de área, como países e continentes.

O *Planet OpenStreetMap* também realiza a extração dos vetores no formato *shapefile* do mundo todo, permitindo também com que o usuário escolha o período deste dado. A principal dificuldade de se trabalhar com o GeoFabrik e o Planet *OpenStreetMap* está na grande quantidade de arquivos baixados, uma vez que não é necessário recorrer a outras ferramentas para delimitação da área de interesse.

Sendo possível filtrar os dados *OpenStreetMap* (por exemplo, por etiquetas, para dar um extrato temático), manipulando arquivos.osm utilizando ferramentas como *osmosis*, *osmconvert* ou *osmfilter*, ou solicitando dados filtrados de uma API especializada, como XAPI ou Overpass API (Wiki *OpenStreetMap*, 2021).

É possível obter informações referentes ao histórico de edições dentro da plataforma do OSM, através do API do OHSOME, que está em desenvolvimento pela equipe de *Big Spatial Data Analytics* da Universidade de Heidelberg, na Alemanha.

Na plataforma OHSOME é possível extrair histórico de feições do OSM, a partir da delimitação da região, filtragem de tags e o período desejado, como mostra a figura 4. Além disso, é possível obter a quantidade de usuários que contribuíram em um determinado local (Elias, 2020).

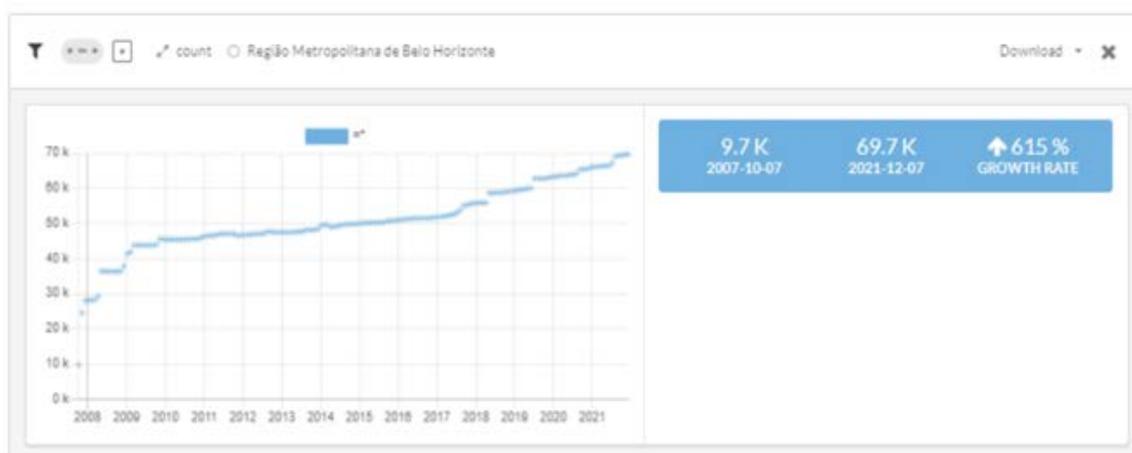
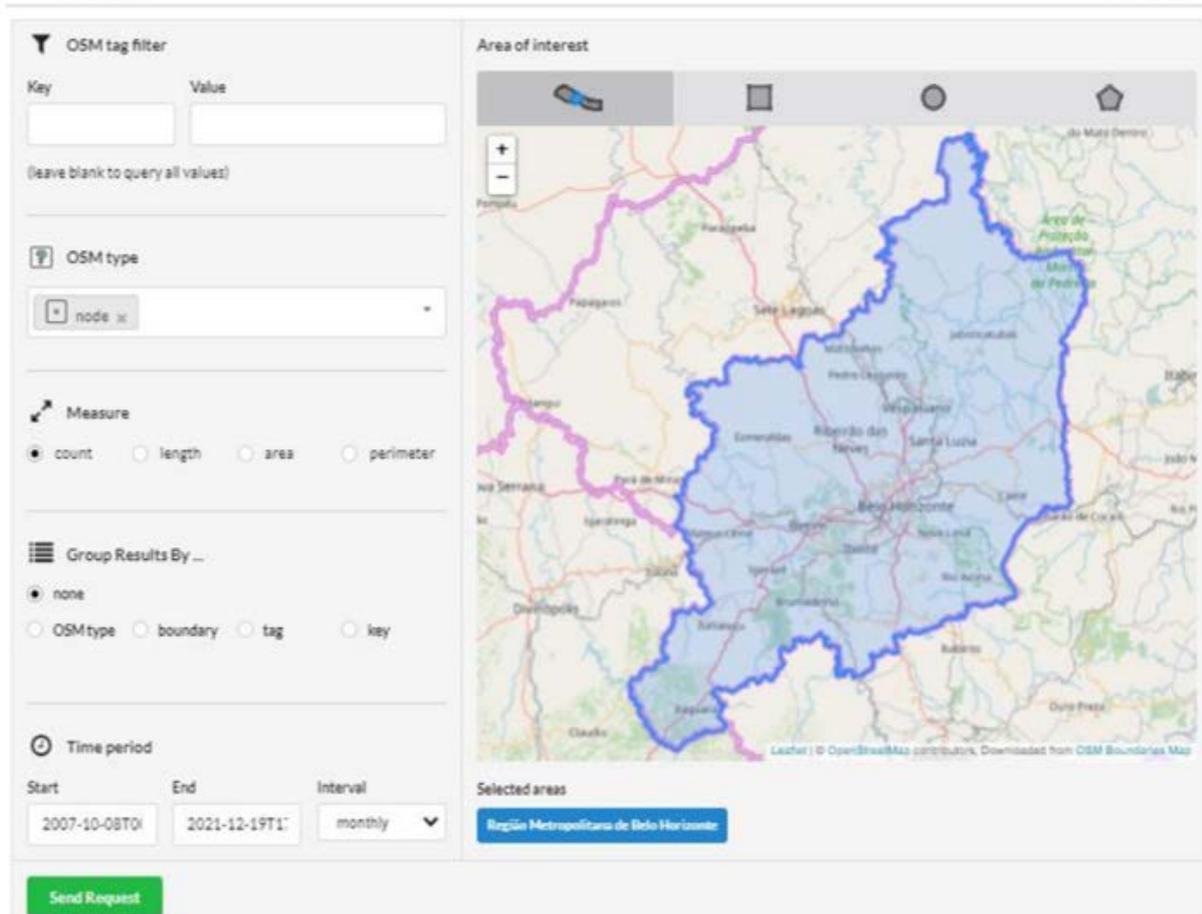


Figura 4 – Dashboard do OHSOME, mostrando o histórico da área selecionada.

No processo de análise temporal das edições com a API do OHSOME é possível extrair os vetores da área de interesse com suas informações históricas agregadas, esta API apresenta uma infraestrutura de banco de dados que dá acesso aos dados históricos do OSM e permite um processamento rápido, ao contrário do Planet OpenStreetMap. São fornecidas a quantidade de edições em um determinado período, quantidade de usuários e as respectivas *tags*.

Os dados obtidos através da API do OHSOME

foram classificados em 3 eventos temporais: pré-evento (antes do acidente), momento do acidente e resposta ao acidente. A partir disso foi possível quantificar a quantidade de edições, compreender o comportamento das contribuições no OSM e as classes mais significativas neste processo, como vias e edificações.

Os dados obtidos podem estar associados a rotas e navegação, geocodificação e pontos de interesse e a partir disso é possível analisar questões relacionadas à completude destes dados.

Ainda no uso de meios de consulta espaço-temporal via web, para avaliar a qualidade intrínseca dos dados OSM destaca-se a ferramenta Oshome API, que integra um banco de dados sobre o histórico dos dados desde a criação da *Openstreetmap*.

Esta ferramenta de consulta (Oshome API), é constituído de modelos para o acesso de elementos OSM em qualquer parte do globo em termos da completude por área, comprimento, contagem, perímetro e usuários cujos resultados são disponibilizados em arquivos de formato CSV, JSON ou GeoJSON (Joaquim, 2020).

Com a finalidade de verificar o comportamento do histórico de edições de feições na plataforma OSM, foi desenvolvido um código programado em Python que o usuário informa as coordenadas referente ao retângulo envolvente, intervalo de data para geração de gráficos espaço-temporais, cujas variáveis correspondem a quantidade de

feições geradas pelo intervalo de tempo.

Um gráfico de regressão também foi gerado, a análise de regressão utiliza um método de avaliação escolhido, uma variável dependente e uma ou mais variáveis explanatórias para criar uma equação que estima os valores para a variável dependente (ESRI, 2021), este gráfico permite verificar a quantidade de contribuições realizadas em um período determinado.

O código foi programado no Google Collaboratory (Colab) que é um produto do Google Research, área de pesquisas científicas do Google. O Colab permite que qualquer pessoa escreva e execute código Python arbitrário pelo navegador e é especialmente adequado para *machine learning*, análise de dados e educação.

Mais tecnicamente, o Colab é um serviço de notebooks hospedados do Jupyter que não requer nenhuma configuração para usar e oferece acesso gratuito a recursos de computação (Google, 2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do plugin QuickOSM foram obtidos os vetores do OSM que posteriormente foram filtrados para englobar a área de estudo. Foi possível extrair vetores representados como pontos, linhas e polígonos.

Com relação aos polígonos, foi obtido um quantitativo de 7865 feições na área de estudo,

dos quais 278 possuíam algum tipo de atributo relacionado, o que representa 3,5%.

Dentre os objetos mapeados temos limites territoriais, elementos da natureza e pontos de interesse como hospitais, igrejas, praças e etc. Pode-se visualizar a estrutura destes dados através da figura 5.

fid	full_id	osm_id	osm_type	IBGE:GEOCODIGO	admin_level	boundary	name	type
1	167 w218611122	218611122	way				Vão Livre Topo do Mundo	
2	96 r7318787	7318787	relation		10	administrat...	Vivenda Santa Mônica II	boundary
3	114 r7318811	7318811	relation		10	administrat...	Vivenda Santa Mônica I	boundary
4	298 w397458660	397458660	way				Viveiro Inhotim	
5	26 r5912615	5912615	relation				Viação Novo Retiro - unidade Igarapé	multipolygon
6	393 w622112994	622112994	way				Verde Folhas	
7	392 w622112993	622112993	way				Verde Folhas	



**Figura 5** – Dados vetoriais na primitiva gráfica de polígono, extraídas do OSM em Brumadinho/MG.

No que se refere aos vetores representados como ponto, foram extraídas 4483 feições do OSM. Os pontos representam, em sua maioria, as *tags* (etiquetas) e descrevem um atributo geográfico da característica a ser mostrada por esse nó. O sistema livre de etiquetas utilizado no *OpenStreetMap* permite incluir um número ilimitado de atributos que descrevem cada característica (OSM, 2021).

Dentro da área de estudo foram utilizadas as mais diversas *tags* que, por exemplo, nomeiam edificações, retratam equipamentos urbanos e fornecem informações viárias, conforme figura 6.

Dentro da plataforma do *OpenStreetMap* está representado por linha objetos referentes aos eixos

viários, ferroviários, hidrográficos e o relevo.

Foram obtidos 14624 objetos, destes 13345 correspondem às vias, ou seja 93% dos vetores representados como linha são referentes às vias.

É possível avaliar a completude do atributo nome, das 13345, 9111 possuem atributos o que corresponde a 68%. Os dados vetoriais da primitiva linha pode ser visualizados através da figura 7.

Ainda representado como linha, foi extraído da plataforma do OSM um arquivo que indica roteiros, podendo ser de ônibus, trem e dutos. Foram encontrados treze registros de rotas na plataforma do OSM para esta área de estudo. As rotas podem ser visualizadas na figura 8.

fid	full_id	osm_id	osm_type	name	place
16	2305 n3957313076	3957313076	node	Valeska Soares	
17	2149 n3691684012	3691684012	node	Vale do Sol 2ª Seção	neighbourhood
18	2148 n3691684011	3691684011	node	Vale do Sol 1ª Seção	neighbourhood
19	2153 n3692090183	3692090183	node	Vale do Sol 1ª Seção	neighbourhood
20	1807 n2802514037	2802514037	node	Vale do Sol	suburb



Figura 6 – Dados vetoriais na primitiva gráfica de ponto, extraídas do OSM em Brumadinho/MG.

fid	full_id	osm_id	osm_type	highway	lanes	name
409	w41170099	41170099	way	trunk	2	Ponte General Dutra
410	w42167938	42167938	way	motorway	4	Avenida Brasil
411	w42167941	42167941	way	motorway	4	Avenida Brasil
412	w42167942	42167942	way	motorway	4	Avenida Brasil
413	w42430276	42430276	way	motorway	4	Linha Vermelha
414	w42430277	42430277	way	motorway	4	Linha Vermelha
415	w42430322	42430322	way	trunk	4	Viaduto do Gasômetro
416	w42430326	42430326	way	trunk	4	Viaduto do Gasômetro
417	w42743550	42743550	way	primary	2	Rodovia Miguel Curry Carneiro
418	w43065187	43065187	way	trunk	2	



Figura 7 – Dados vetoriais na primitiva gráfica de linha, extraídas do OSM em Brumadinho/MG.

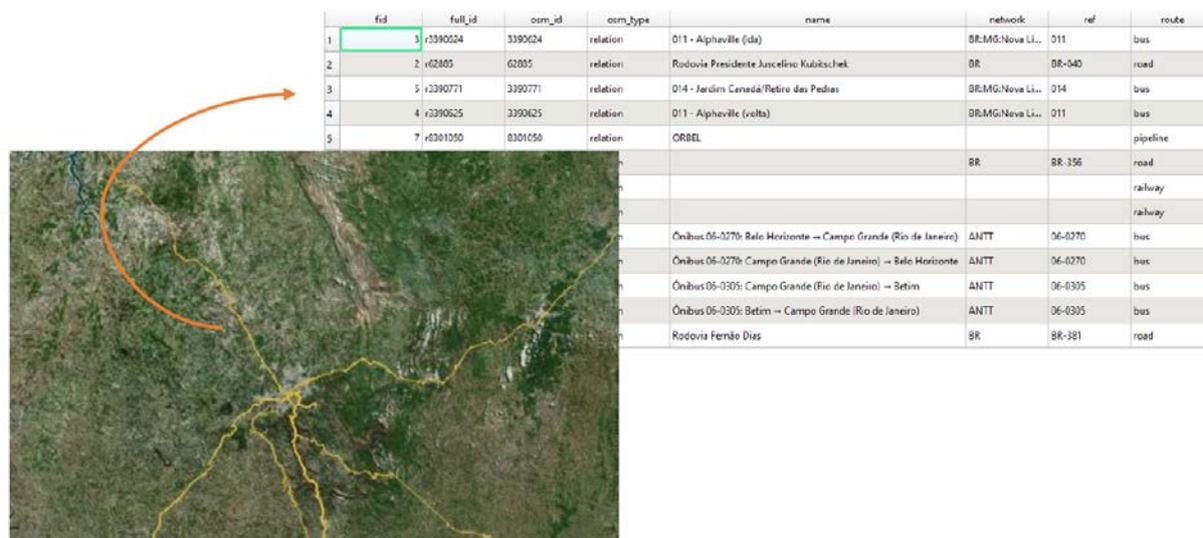


Figura 8 – Dados vetoriais na primitiva gráfica de linha (rotas), extraídas do OSM em Brumadinho/MG.

Para a análise espaço-temporal foi gerado um retângulo envolvente a partir do polígono referente ao município de Brumadinho/MG, que possui uma área equivalente a 1193,2 km<sup>2</sup>. Posteriormente foi gerado um retângulo envolvente a partir do polígono disponibilizado pela Projeto Pró-Brumadinho referente a área afetada, gerando em seguida polígonos no entorno da área correspondente ao desastre como mostrado no mapa da figura 9. Os polígonos possuem uma área equivalente a 22,7 km<sup>2</sup>.

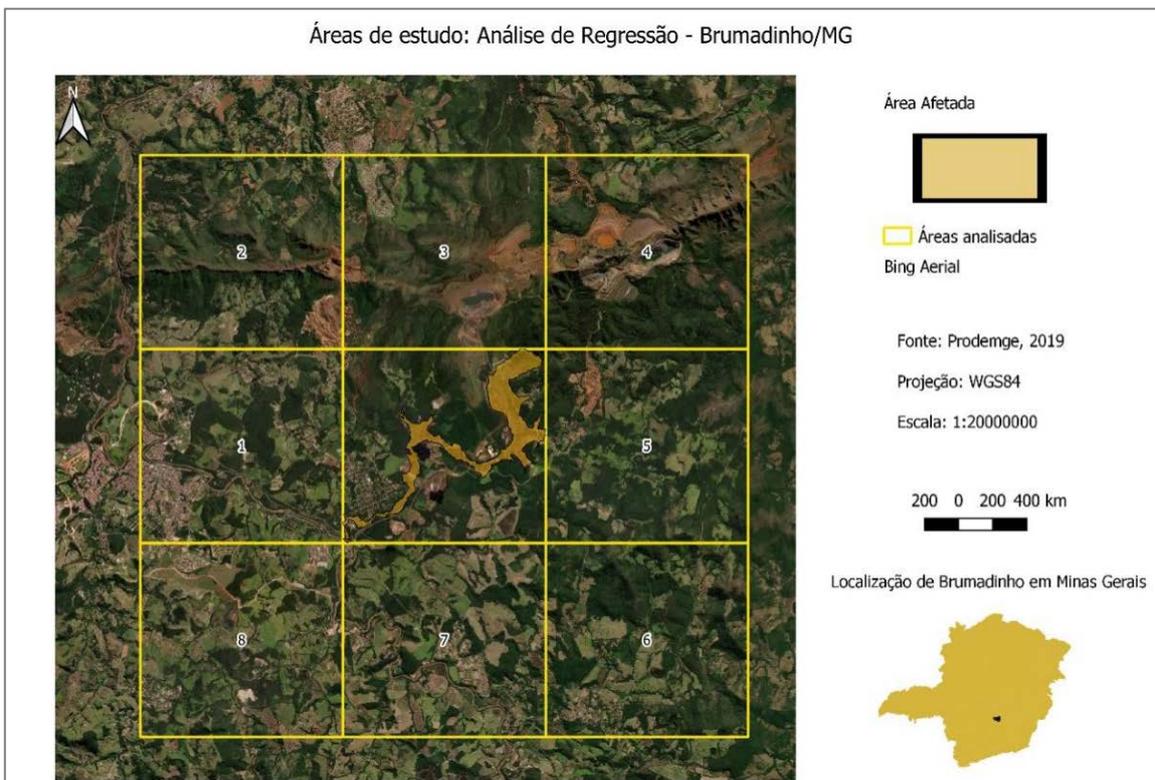
A partir das aplicações disponibilizadas pelo OHSOME, as análises realizadas nas áreas do Brasil foram dispostas no Google Collaboratory. Os códigos são baseados em exemplos disponíveis e disponibilizados por pesquisadores do OHSOME e utilizado por Elias et al. (2021)

*“Discovering spatiotemporal patterns on data quality assessment in collaborative mapping: A preliminary study in an area of Brazil”.*

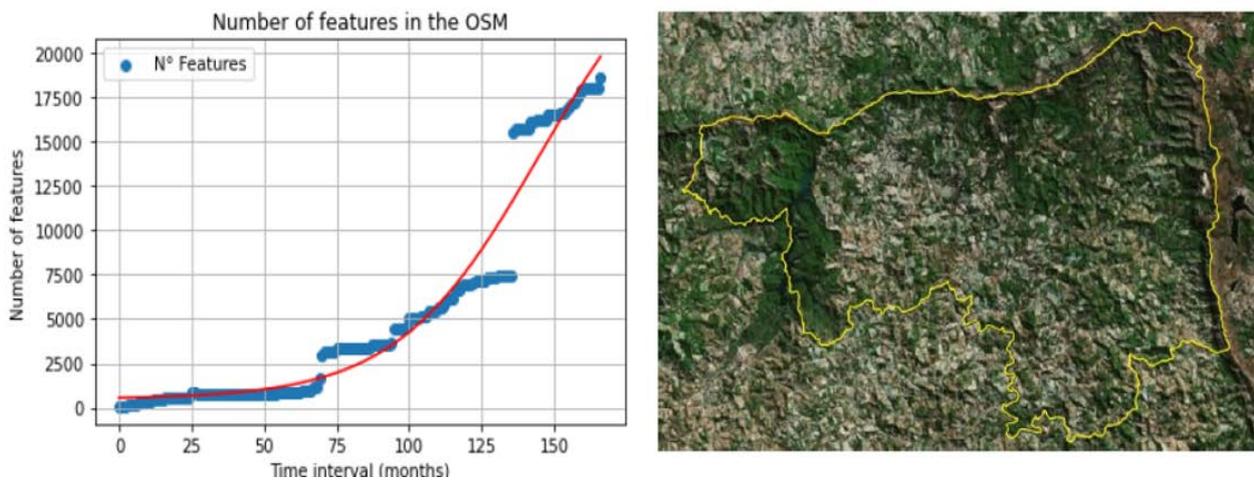
Os scripts foram abertos no Google Colab para que os gráficos utilizados nesta análise pudessem ser gerados. Analisando todo o histórico de edições do município de Brumadinho/MG, cujo intervalo vai de 10 de agosto de 2007 até 22 de agosto de 2021 foi gerado o gráfico presente na figura 10.

Entre os meses 125 e 150 foi possível identificar um crescimento atípico na quantidade de contribuições.

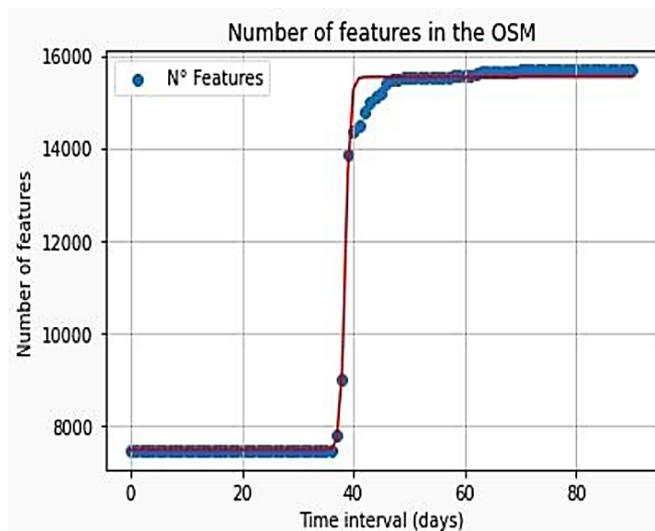
Ao limitarmos o intervalo de tempo, para esta mesma área, entre os dias 20 de dezembro de 2018 e o dia 20 março de 2019, foi obtido o gráfico da figura 11.



**Figura 9** – Áreas de estudo para análise espaço-temporal em Brumadinho/MG.



**Figura 10** – Evolução no histórico de edições para o município de Brumadinho/MG.



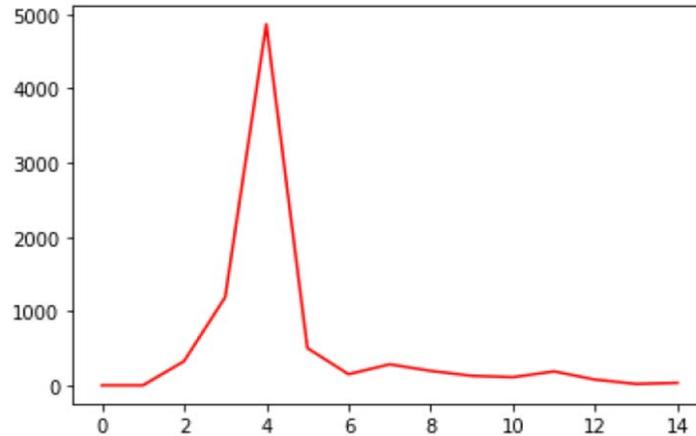
**Figura 11** – Evolução diária no histórico de edições para o município de Brumadinho/MG.

O gráfico da figura 12 consiste em uma análise de regressão na qual podemos verificar a quantidade de edições realizadas por dia.

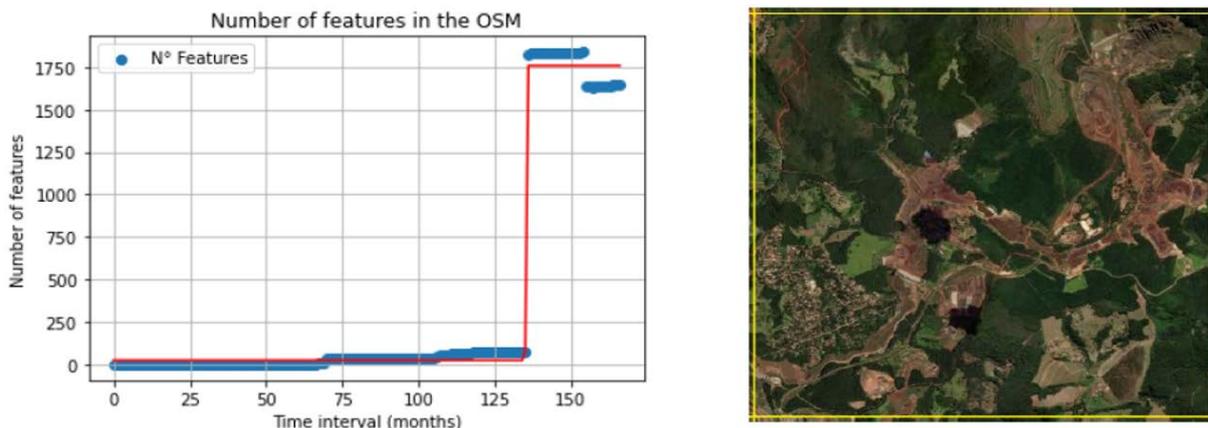
Os próximos gráficos, apresentados nas figuras 13 e 14, foram obtidos através de um recorte menor, considerando o retângulo envolvente da área afetada e das áreas adjacentes conforme

mapa da figura 9.

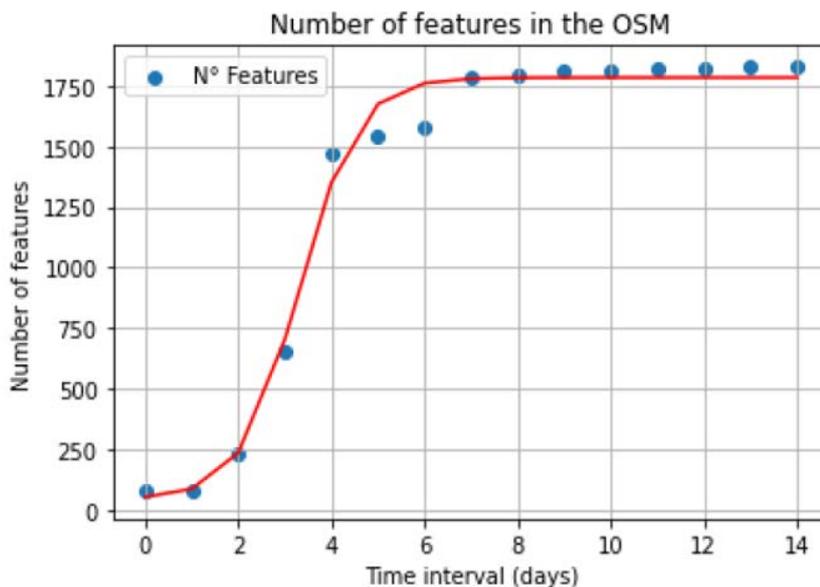
Os gráficos a seguir também são referentes ao intervalo de tempo de 10 de agosto de 2007 até 22 de agosto de 2021 e para as áreas com maior quantidade de contribuições foi realizada uma análise diária no período de 24 de janeiro de 2019 até o dia 7 de fevereiro de 2019.



**Figura 12** – Total de edições por dia no município de Brumadinho/MG.



**Figura 13** – Evolução no histórico de edições para área afetada pelo desastre em Brumadinho/MG.



**Figura 14** – Evolução diária no histórico de edições para área afetada pelo desastre em Brumadinho/MG.

Os seguintes gráficos (Figura 15) correspondem à evolução no histórico de edições das áreas 1 a 8, conforme mapa apresentado na figura 9, e no interior da própria figura 15. Os resultados obtidos são descritos a seguir.

Em uma semana, aproximadamente, 8.000 registros foram realizados em Brumadinho, sendo que 5.000 deles foram somente em um dia (quarto dia após o desastre). Após o período de uma semana, os gráficos tendem a se normalizar. Para os estudos das áreas, temos que a maior parte das contribuições foram realizadas na área

1, pelo fato de lá estar localizada a região central da cidade que possui uma maior quantidade de objetos, diferente da região afetada.

Os gráficos das áreas 2, 6, 7 e 8 apresentam um comportamento que mais se aproxima de uma função linear, representando um crescimento constante. Apesar dos gráficos das áreas 3, 4 e 5 apresentarem um crescimento atípico em um determinado período, que foi caracterizado pelas campanhas de mapeamento, o total de objetos na área é relativamente baixo, sendo assim o gráfico se torna mais sensível a mudanças.

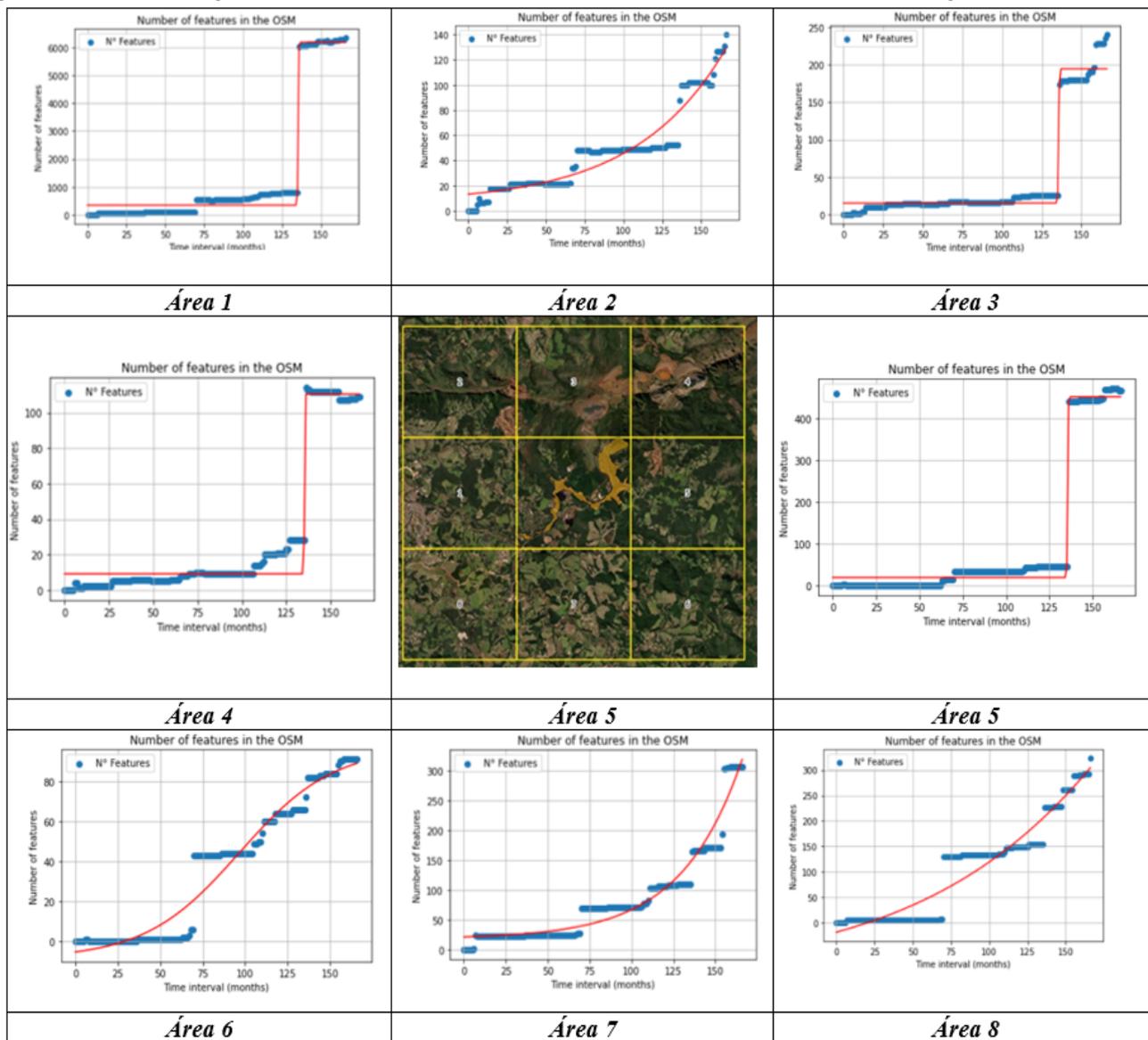


Figura 15 - Evolução no histórico de edições das áreas 1 a 8.

## CONCLUSÕES

Como conclusões do trabalho, pode ser destacado que, a partir da avaliação dos padrões espaço temporais, foi possível compreender os impactos da Equipe Humanitária do *OpenStreetMap* na produção de dados geoespaciais para gerenciamento de crises. Utilizando os dados disponíveis

na plataforma OSM, antes e depois do rompimento da barragem de rejeito a montante da empresa Vale, localizada no município de Brumadinho/MG.

Foi perceptível os esforços da Equipe Humanitária do *OpenStreetMap Team*, através das

campanhas globais, apresentando uma solução rápida e de baixo custo, para a realização de mapeamentos de diferentes objetos no local atingido pelo desastre.

No que tange a qualidade destes dados podemos ressaltar a completude dos atributos não quantitativos da malha viária com 93% dos atributos preenchidos. Contrastando com a completude dos atributos referentes aos pontos de interesse que apresentou um resultado de 3,5%, ou seja, se têm a maioria dos objetos vetorizados, mas não é possível qualificá-los.

Para trabalhos futuros é recomendado que seja

realizado uma avaliação das questões relacionadas a usabilidade das interfaces de acesso aos dados.

Também é sugerido que seja melhor estudado as questões que permeiam o aproveitamento dos dados por órgãos oficiais. Outro aspecto que deve ser melhor compreendido corresponde ao controle de qualidade dos dados VGI obtidos por meio de campanhas de mapeamento.

E, por fim, se recomenda pesquisas que abordam a utilização de outras ferramentas gratuitas na internet para aquisição de informação geoespacial.

## REFERÊNCIAS

- AEROWEST, MICROSOFT BING. Bing, 2010
- AIRES, U.R.V.; SANTOS, B.S.M.; COELHO, C.D.; DA SILVA, D.D.; CALIJURI, M.L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land Use Policy**, v. 70, p. 63-70, 2018.
- ANTONIOU, V.; SKOPELITI, A. Measures and indicators of VGI quality: An overview. *Proceedings of the ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, La Grande Motte, 2015. **Proceedings ... ISPRS**, p. 345-351, 2015.
- AUER, M.; ECKLE, M.; FENDRICH, S.; GRIESBAUM, L.; KOWATSCH, F.; MARX, S.; ZIPF, A. Rumo ao uso do potencial do histórico do OpenStreetMap para monitoramento de ativação de desastres. **No ISCRAM**. 2018.
- ÁVILA, M.R.R.; Mattedi, M.A.; SILVA, M.S. Serviço Social e desastres: campo para o conhecimento e a atuação profissional. **Serviço Social & Sociedade**, 2017.
- BARRON, C.; NEIS, P.; ZIPF, A. A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis. **Transactions in GIS**, v. 18, n.6, p. 877-895, 2014.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Ministério de Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Política Nacional de Defesa Civil**. Diário Oficial da União.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia de preparação e resposta aos desastres associados às inundações para a gestão municipal do sistema único de saúde**. Brasília: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2011.
- BRAVO, J.V.M. **A confiabilidade semântica das Informações Geográficas Voluntárias como função da organização mental do conhecimento espacial**. Curitiba. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná.
- CORMODE, G. & KRISHNAMURTHY, B. **Principais diferenças entre Web 1.0 e Web 2.0**. Primeira segunda-feira, 2008.
- ELIAS, E. **Potencialidade do uso de padrões espaço-temporais para a determinação da qualidade de dados no mapeamento colaborativo**. Curitiba. 2020. Exame da qualificação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.
- ELIAS, E. **Qualidade de dados geoespaciais em plataforma de mapeamento colaborativo**. Salvador. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação sem Engenharia Civil (PEEC), Universidade Federal da Bahia.
- ELIAS, E.N.N.; AMORIM, F.R.; SCHMIDT, M.A R.; CAMBOIM, S.P. Discovering spatiotemporal patterns on data quality assessment in collaborative mapping: A preliminary study in an area of Brazil. In: INT. CARTOGR. ASSOC. 2021.
- Abstract...** Curitiba: v. 3, p. 73, 2021
- G1. **Mina que abriga barragem em Brumadinho responde por 2% da produção da Vale**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/mina-que-abriga-barragem-em-brumadinho-responde-por-2-da-producao-da-vale-veja-raio-x.ghtml>. Acesso em: fevereiro de 2020.
- GOODCHILD, M.F. & LI, L. Assegurar a qualidade da informação geográfica voluntária. **Estatísticas espaciais**, v. 1, p. 110-120, 2012.
- GOODCHILD, M.F. Citizens as sensors: the world of Volunteered Geography. **GeoJournal**, v. 69, 2007
- GOOGLE. **O que é o Colaboratory?** Disp. em: <https://research.google.com/colaboratory/intl/pt-BR/faq.html>. Acesso em: 22 de dezembro de 2021.
- GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Comitê Gestor Pró-Brumadinho**. Disp. em: [www.mg.gov.br/conteudo/pro-brumadinho/comite-gestor-pro-brumadinho](http://www.mg.gov.br/conteudo/pro-brumadinho/comite-gestor-pro-brumadinho). Acesso em 22 de dezembro de 2021.
- HACHMANN, S.; ARSANJANI, J. J.; VAZ, E. Spatial data for slum upgrading: Volunteered Geographic Information and the role of citizen science. **Habitat International**, 2017.
- JOAQUIM, I. P. **Avaliação Multitemporal da Qualidade Intrínseca de Dados na Plataforma Openstreetmap na Cidade da Beira – Moçambique**. Curitiba. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.
- MEDEIROS, G.F.B. **OpenStreetMap: Uma Análise Sobre a Evolução de Dados Geográficos Colaborativos no Brasil**. Monografia do Curso de Engenharia da Computação – Universidade Federal de Brasília. 2017.
- MINGHINI, M., & FRASSINELLI, F. Histórico do OpenStreetMap para avaliação de qualidade intrínseca: O OSM está atualizado? **Dados Geoespaciais Abertos, Software e Padrões**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2019.
- O'REILLY, Tim. **What is web 2.0**. 2005.
- OLIVEIRA, W.D.; ROHLFS, D.B.; GARCIA, L.P.O desastre de Brumadinho e a atuação da Vigilância em Saúde. Brasília. **Epidemiologia Serviço e Saúde**, 2019.
- OPENSTREETMAP HUMANITÁRIO. HOT, 2021
- OPENSTREETMAP: Desafios e oportunidades em aprendizado de máquina e sensoriamento remoto. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**, v. 9, n. 1, p. 184-199, 2020.
- PEREIRA, L.; CRUZ, G.; MORATO F.G. Impacts from the tailings dam rupture of Brumadinho, Brazil: an analysis based on land cover changes. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. 4. 122-129, 2019.
- PERKINS, C. Researching mapping: methods, modes and moments in the (im)mutability of OpenStreetMap. **Global Media Journal**, v. 5, 1-12, 2011.

- RAIFER, M.; TROILO, R.; KOWATSCH, F.; AUER, M.; LOOS, L.; MARX, S.; ZIPF, A. OSHDB: uma estrutura para análise espaço-temporal de dados históricos do OpenStreetMap. **Dados Geospaciais Abertos, Software e Padrões**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2019.
- SENARATNE, H.; MUELLER, M.; BEHRISCH, M.; LALANNE, F.; BUSTOS-JIMÉNEZ, J.; SCHNEIDEWIND, J.; SCHRECK, T. Análise de mobilidade urbana com dados de rede móvel: uma abordagem de análise visual. **Transações IEEE em Sistemas de Transporte Inteligentes**, v. 19, n. 5, p. 1537-1546, 2017.
- WIKI, O. List of OSM-based services, 2021.

*Submetido em 4 de julho de 2022*  
*Aceito para publicação em 5 de dezembro de 2022*